

Aki Laakso, Henri Lehtinen, Erika Kirveskari ja Markku Määttänen

Valveilla olevan potilaan aivokirurgia

Aivokasvain- ja epilepsiakirurgia saattavat edellyttää aivokudoksen poistamista toiminnallisesti aivan keskeisimpien aivoalueiden läheltä. Huolimatta toiminnallisen aivokuvantamisen ja neurofysiologisen monitoroinnin edistysaskelista, luotettavin keino kielellisten ja kognitiivisesti tärkeiden alueiden paikantamiseksi ja suojaamiseksi on edelleen leikkauksen suorittaminen potilaan ollessa hereillä. Leikkauksen avaus- ja sulkuvaiheessa potilas voi olla sedatoitu, ja hänet herätetään aivokuoren ja valkean aineen ratayhteyksien sähköstimulaation avulla tehtävää kartoitusta sekä kudoksen poiston aikaisen toimintakyvyn seuraamista varten. Aivokirurgia valveilla olevalla potilaalla on oikein suoritettuna hyvin siedettyä ja luo edellytykset mahdollisimman laajalle ja turvalliselle resektiolle isoaivojen toiminnallisille alueille ulottuvien aivosairauksien neurokirurgisessa hoidossa.

Osa aivojen hermo- ja tukisolukudoksen neurokirurgisesti hoidettavista sairauksista edellyttää toiminnallisen kudoksen resektiota. Tyypillisimmät esimerkit ovat aivojen tukisolukasvaimet eli glioomat, jotka kasvavat aivokudoksessa ilman selvää rajapintaa, sekä aivokuoren paikallinen kehityshäiriö eli fokaalinen kortikaalinen dysplasia (FCD), joka on tavallisimpia vaikeahoitoisen epilepsian syitä. Näiden kirurgisessa hoidossa tavoitellaan mahdollisimman kattavaa poikkeavan aivokudoksen poistoa pyrkimällä kuitenkin suppeimpaan mahdolliseen toiminnalliseen haittaan.

Toiminnallisilla aivokuvantamismenetelmillä kyetään nykyisin paikantamaan aivojen useita toiminnallisesti tärkeitä alueita ja niiden tuottama kuvantamistieto pystytään siirtämään aivoleikkauksessa käytettävään neuronavigaattorilaitteistoon. Toimintojen kannalta keskeisille alueille tai aivan niiden välittömään läheisyyteen ulottuvien glioomien tai FCD-pesäkkeiden turvalliseen poistamiseen näiden menetelmien tarkkuus ja luotettavuus eivät kuitenkaan riitä. Herätepotentiaaleja seuraamalla pystytään leikkauksen aikana monitoroimaan motorisia ja tärkeimpiä aistitoimintoja (näkö, kuulo, tunto) myös potilaan ollessa nukutettuna. Kognitiivisten prosessien arviointi edellyttää kuitenkin potilaan olemista tajuissaan. Näistä helpoiten testattavia – ja samalla arjessa selviytymisen

kannalta keskeisimpiä – ovat kielelliset toiminnot. Niihin liittyvien aivoalueiden paikantaminen ennen aivokudoksen poistoa perustuu ilmiöön, jossa aivokudokseen johdettu heikko sähkövirta aiheuttaa paikallisen ($< 1 \text{ cm}^2$) toimintahäiriön ja esimerkiksi puheen estymisen tai häiriintymisen. Pitkälti nykyisen kaltaisena menetelmän otti kliniseen käyttöön Otfried

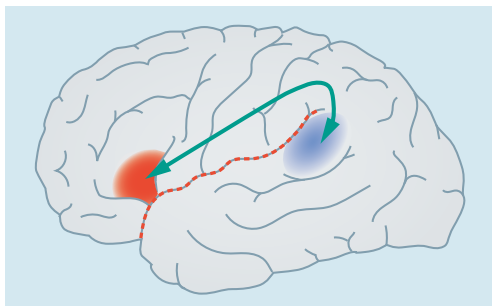
TIETOLAATIKKO.

Toiminnallisessa magneettikuvauksessa (fMRI) mitataan aivojen eri osissa tapahtuvia veren happipitoisuuden muutoksia, useimmiten potilaan suorittaessa määrättyä tehtävää. Muutosten oletetaan olevan seurausta hermosolujen sähköisestä toiminnasta.

Magnetoencefalografialla (MEG) tutkitaan aivojen sähköistä toimintaa mittaamalla hermosoluvierintään liittyvien sähkövirtojen tuottamia heikkoja magneettikenttiä pään ulkopuolelta.

Navigoidussa transkraniaalisessa magneettistimulaatiossa (nTMS) annetaan pään pinnalle kohdennetusti magneettipulseja, jotka synnyttävät aivokuorella hermosoluja aktivoivan sähkövirran. Erotuksena yllä mainittuihin menetelmiin, tällä pyritään aktivoimaan tai estämään aivojen toimintaa, kuten suoralla sähköstimulaatiollakin.

Diffuusiotensorikuvaus (DTI) mittaa magneettikuvauksen keinoin veden lämpöliikettä kudoksissa, ja sillä voidaan visualisoida kolmiulotteisesti eri aivoalueiden välisiä anatomisia ratayhteyksiä.



KUVA 1. Yksinkertaistettu kaavio aivojen keskeisistä puheen prosessointiin osallistuvista rakenteista. Nykikäsitteen mukaan kielellisistä toiminnoista vastaavat yksilöllisesti organisoituneet verkostot. Kielellisesti dominantin otsalohkon operkulaarisessa osassa sijaitseva Brocan alue (punainen) vastaa tyypillisesti puheen tuottamisesta ja motorisesta prosessoinnista, kun taas ohimolohkon operkulaarisessa takaosassa sijaitseva Wernicken alue (sininen) vastaa puheen ymmärtämisestä ja semanttisesta sisällöstä. Näiden alueiden sijainnissa ja laajuudessa on varsin suuri yksilöllinen vaihtelu, jota näiden läheisyydessä sijaitsevat rakenteelliset poikkeavuudet lisäävät. Näiden välillä kulkee Sylviuksen uurteen (fissura Sylvi, punainen katkoviiva) kiertävä valkean aineen ratayhteys, fasciculus arcuatus (vihreä), jonka vaurio missä kohdassa tahansa aiheuttaa myös puheen häiriintymisen.

Foerster Saksassa jo 1920-luvulla motorisen aivokuoren paikantamiseksi, ja hänen oppilaansa Wilder Penfield aloitti Kanadassa muun muassa puhealueiden kartoittamisen epilepsialeikkauspotilailla jo 1940-luvulla (1).

Potilasvalinta

Valveleikkausta harkitaan aikuisilla gliooma- ja epilepsiapotilailla, joilla suunniteltu resektio ulottuu dominantin aivopuoliskon kielellisiä toimintoja ohjaavien alueiden läheisyyteen, ja raja patologisen ja toiminnallisen kudoksen välillä on epätarkka (2). Oikeakätisillä vasen aivopuolisko on kielellisesti dominantti lähes aina, mutta vasenkätisillä dominanssin varmistaminen edellyttää yleensä toiminnallista aivokuvantamista (useimmiten toiminnallinen magneettikuvaus, fMRI) (**TIETOLAATIKKO**) tai jopa Wada-testiä, jossa aivopuoliskot sedatoidaan neuropsykologisen testauksen aikana vuorotellen sisempiin kaulavaltimoihin ruis- kutetulla lyhytvaikutteisella barbituraatilla. Terveistä oikeakätisistä alle kymmenyksellä ja

vasenkätisistä alle kolmanneksella on arvioitu olevan niin sanottu epätyypillinen (oikea- tai molemmanpuoleinen) kielellinen dominanssi (3), mutta aivojen rakenteelliset tai toiminnalliset (epilepsia) poikkeavuudet saattavat lisätä tämän ilmiön yleisyyttä. Aikuisilla glioomapotilailla luvut lienevät vain hiukan suurempia, mutta epilepsiapotilailla ne voivat olla sopivin taustatekijöihin moninkertaisia (esimerkiksi varhainen sairastumiskä, intensiivinen taudinkuva tai anatomisesti kielellisellä alueella sijaitseva rakenteellinen poikkeama). Kielialueet muodostavat laajan, mosaiikkimaisen verkoston ja voivat sijaita myös etäämpänä klassisista Brocan ja Wernicken alueista. Kielellisten alueiden ja ratayhteysien (fasciculus arcuatus) vaurion mahdollisuus tulisikin pitää mielessä aina, kun resekoitava kohde sijaitsee Sylviuksen uurteen ympäristössä dominantissa aivopuoliskossa (**KUVA 1** ja **2**) (4–6).

On harvinaista, että potilas kieltäytyy valveleikkauksesta, kun asia esitetään hänelle perustellen ja hyvissä ajoin. Voimakas ahdistuneisuus tai toimenpiteen pelko, samoin kuin psykoosi tai vaikea persoonallisuushäiriö ovat kuitenkin käytännössä esteitä valveleikkaukselle. Vaikea keuhkosairaus tai ylähengitysteiden ahtausta saattavat estää tai haitata riittävää kaasujenvaihtoa tai ilmäteiden auki pysymistä sedaation aikana. Ehdottomia ikärajoja ei ole asetettu; nuorilla riittävän henkisen kypsyyden saavuttaminen on yksilöllistä, ja toisaalta iäkkäimmillä potilailla sopivan sedaation turvallinen ja toimenpiteen sujuvuuden kannalta mielekäs toteuttaminen saattaa olla vaikeaa.

Kielellisiin toimintoihin liittyvien aivoalueiden paikannus ennen leikkausta

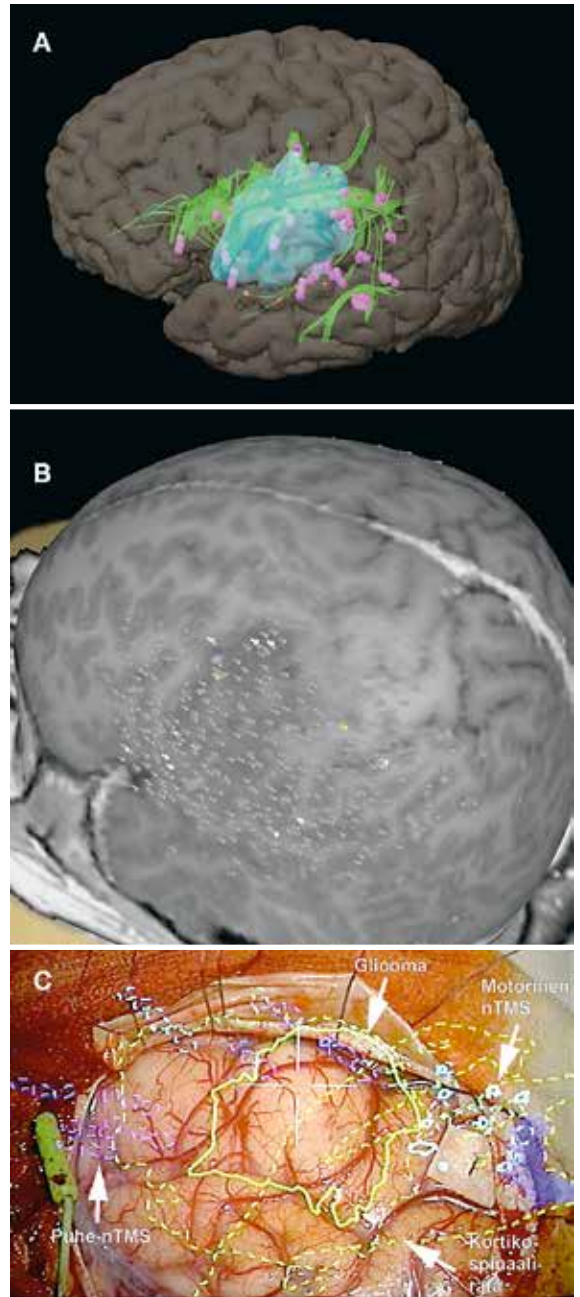
Ennen leikkausta kielellisiä toimintoja voidaan alustavasti paikantaa fMRI:llä, magnetoenkefalografialla (MEG) tai navigoidulla transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (nTMS) (**KUVA 2** ja **TIETOLAATIKKO**). Diffuusiotensorikuvantaminen (DTI) auttaa kortikaalisiin kielellisiin alueisiin liittyvien ratayhteysien paikantamisessa (**KUVA 2**). Leikkausta edeltävä paikannus auttaa muun muassa leikkauksen suunnittelus-

KUVA 2. A) BrainLab iCranial -neuronavigaattoriohjelmistolla luotu suunnitelma, jossa isoaivojen sisällä erotuu gliooma (turkoosi). Pinnalla näkyvät vaaleanpunaisina navigoidulla transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (nTMS) määritetyt aivokuoren puhealueet, ja pieninä punaisina pisteinä valveleikkauksen aikana kortikaalisella sähköstimulaatiolla paikannetut puhealueet. nTMS-pisteitä siemenalueina käyttäen diffuusiotsensori (DTI)-kuvauksella on paikannettu puheen prosessoinnissa tarvittavat ratayhteydet (fasciculus arcuatus, vihreä). B) NexStim-nTMS-laitteen tuottama kolmiulotteinen malli aivoista, jonka pinnalla näkyvät nTMS:lla stimuloituvat kohdat. Harmaat pisteet: ei vastetta; valkoiset pisteet: anomia; keltaiset pisteet: nimeämisen viivästyminen. C) BrainLab Curve-neuronavigaattorin leikkausmikroskoopin okulaareihin (Zeiss OPMI Pentero) projisoima navigaatiografiikka. Kuvassa erottuvat kasvaimen ääri-viivat, DTI:llä määritetty motorinen kortikospiinaalirata, sekä nTMS:lla määritetyt aivokuoren puhe- ja motoriset alueet, joita voi hyödyntää aivokuoren sähköstimulaatiossa leikkauksen aikana.

sa, potilaan informoimisessa, potilaan valmistamisessa leikkauksenaikaista testausta varten ja on hyödyllinen tilanteessa, jossa leikkauksen aikainen kielellisten toimintojen kartoitus ei onnistu tai jää kesken esim. epilepsiakohtausten, liiallisen ahdistuneisuuden tai lääkevaikutusten vuoksi. Käytämme nykyisellään tarvittaessa ensisijaisesti fMRI:tä tai sen epäonnistuessa Wada-tutkimusta kielellisesti dominantin aivopuoliskon varmistamiseen. Puheen tuottamiseen liittyvät aivoalueet paikannamme nTMS:llä (7). Suoraan kortikaaliseen sähköstimulaation melko hyvin korreloivien löydösten lisäksi (8) nTMS on hyödyllinen leikkauksen aikaiseen stimulaatioon valmistavana tutkimuksena, sillä potilaan tehtävä ja kokemus ärsykemateriaaleineen on sama: hän nimeää ruudulla esitettäviä kuvia ja tätä häiritään stimuloimalla magneettipulssisarjoin aivokuoren eri alueita. nTMS:lla saadut löydökset siirretään neuronavigaattoriin (**KUVA 2**). Lisäksi nTMS-löydöksiä voi käyttää DTI:n siemenalueina kartoittamaan mahdollisesti leikkausalueella kulkevia puhealueisiin liittyviä hermoratayhteyksiä (**KUVA 2**).

Anestesia valveleikkauksen aikana

Käytämme valveleikkauksessa sedaatio-valve-sedaatiovuorottelutekniikkaa, ja potilas hengittää koko ajan spontaanisti. Potilaan henkinen valmistelu toimenpiteeseen on olennaista.



Rauhoittavaa esilääkitystä ei käytetä, ettei sen väsyttävä vaikutus haittaa neuropsykologista testausta. Vatsansuoja- ja pahoinvointiestolääkitys annetaan vuodeosastolla. Glioomapotilaat saavat tavanmukaisen glukokortikoidilääkityksen, muu oma (esimerkiksi epilepsia-) lääkitys annetaan harkinnan mukaan.



KUVA 3. Potilaan asettelu valveleikkauksessa. Potilas on puoli-istuvassa asennossa ja pää on kiinni kallotelineessä (steriilin liinan alla). **A)** Kirurgi leikkaa steriilisti peitellyn suuohjattavan leikkausmikroskoopin takana. Steriilin liinan alta potilaalla on näköyhteys neuropsykologisiin (etualalla selin kameraan) ja anestesiatiimiin. **B)** Potilaalla on näköyhteys neuropsykologisiin ja tietokoneen kuvaruutuun, jolta näytetään nimettäviä kuvia.

Leikkauksenaikaiseen anestesia-monitorointiin kuuluvat EKG, invasiivinen verenpaineen mittaaminen, tuntidiureesin mittaaminen, sekä hengityksen valvonta happisaturaatiota ja uloshengityksen hiilidioksiditasoa seuraten. Laskimokanylointi tehdään hereillä ja potilaalle asetetaan toiseen sieraimeen happivirtaus ja toiseen kapnometrian tili. Tämän jälkeen aloitetaan propofoli- ja deksmedetomidini-infuusiot, ja sedaatiassa kanyloidaan rannevaltimo, laitetaan virtsakatetri ja mahdolliset neurofysiologisen monitoroinnin edellyttämät elektrodit. Alkuvalmistelujen aikana annetaan myös paraseta-molia ja levetirasetaamia suonensisäisesti. Kallotelineen piikkien kohtien puudutusta ja telineen asetusta varten sekä leikkausalueen puudutusta varten sedaatiota tehostetaan antamalla pieni annos fentanylä; tarvittaessa voidaan antaa myös lisäannos propofolia. Potilas asetetaan tavallisesti lievään puoli-istuvaan asentoon, josta pyritään tekemään mahdollisimman mukava. Pää on usein sivulle käännettynä niin, että potilaalla on näköyhteys testaavaan neuropsykologisiin ja testikuvamonitoriin, mutta ei leikkausmonitoriin (**KUVA 3**). Hengitystien avoimuuteen kiinnitetään erityistä huomiota, ja anestesiatiimilla on oltava esteetön pääsy tarvittaessa avustamaan hengitystä.

Kallon avauksen aikana propofoli- ja deksmedetomidinisedaatio jatkuu vasteen mukaan, kunnes kovakalvo avataan. Potilaat heräävät sedaation loputtua yleensä 10–15 minuutin kuluttua, jolloin neuropsykologinen testaus

voidaan aloittaa. Testauksen ja resektion loputtua propofoli- ja deksmedetomidini-infuusiot aloitetaan uudelleen, ja niitä jatketaan toimenpiteen loppuun asti. Potilaat siirretään salista, usein jo hereillä, valvontaosastolle, jossa heitä seurataan mahdollisten neurologisten komplikaatioiden havaitsemiseksi tavallisesti seuraavaan aamuun, kuitenkin vähintään kuusi tuntia.

TAULUKOISSA 1 ja 2 on tiivistettynä käyttämämme lääkkeet sekä leikkauksenaikaisten komplikaatioiden hoitoperiaatteet (9).

Puhetoimintojen paikannus ja seuranta valveleikkauksen aikana

Ennen saliin menoa neuropsykologi tapaa potilaan, harjoituttaa leikkauksen aikaiset tehtävät, informoi häntä testauksen kulusta ja leikkauksen aikana mahdollisesti ilmenevistä oireista, neuvoo miten haastaviin vaiheisiin tulisi suhtautua ja pyrkii luomaan luottavaisen suhteen potilaaseen. Testaus voidaan jakaa kahteen vaiheeseen, joiden välillä voidaan vuorotella leikkauksen edetessä: toimintojen kartoitukseen ja seurantaan. Toiminnallisia alueita kartoitettaessa potilas suorittaa määrättyä tehtävää, ja suoriutumiseen pyritään vaikuttamaan suoralta kortikaalisella tai subkortikaalisella sähköstimulaatiolla. Varsinaista resektiota tehtäessä potilaan toimintakykyä seurataan vapaamuotoisemmin.

Aivojen suora sähköstimulaatio. Aivojen eri kohtia voidaan stimuloida sähköllä

suoraan siten, että kirurgi koskettaa stimulaatiokärjellä aivokudoksen pintaa. Aivojen sähköstimulaatiossa vuosikymmenten ajan yleisimmin käytössä ovat olleet stimulaatio-
taajuudet 50–60 Hz. Eniten on käytetty bipolaarista stimulaatiokärkeä (kärkien etäisyys yleensä 5–10 mm) ja bifaasista 1 ms:n kestoista kanttiaaltoja (10). Myös monofaasista pulssia (pulssinkesto yleensä 0,5 ms) voi käyttää; tällöin positiivinen pulssimuoto on tehokkaampi kortikaalisessa ja negatiivinen subkortikaalisessa stimulaatiossa. Bipolaarinen stimulaatio mahdollistaa paikallisemman stimulaation kuin monopolaarinen stimulaatio, mutta monopolaarisella stimulaatiolla kartoittaminen on käytännössä hieman nopeampaa. Omassa yksikössämme käytämme yleensä monopolaarista stimulaatiota, jota tarvittaessa tarkennamme bipolaarisella stimulaatiolla.

Stimulaatiokärkeä pidetään yhdessä stimulaatiokohdassa kerrallaan noin kolmen sekunnin ajan ja jokaista kohtaa stimuloidaan ainakin kolme erillistä kertaa stimulaatiolöydöksen varmistamiseksi, välillä muita kohtia stimuloiden. Puheen häiriön aiheuttamiseen tarvittava stimulaatiointensiiteetti on yksilöllinen ja on tyypillisesti luokkaa 2–8 mA bipolaarisessa stimulaatiossa. Aivojen leikkauksenaikaisen sähköstimulaation ei ole kuvattu aiheuttaneen pitkäaikaisia haittavaikutuksia. Tavallisin (joskaan ei kovin yleinen) välitön haittavaikutus on epileptinen kohtaus, joka voidaan yleensä hoitaa huuhtelemalla aivojen pintaa kylmällä (0–4° C) natriumkloridi- tai Ringerin liuoksella. Pitkäkestoinen stimulaatio altistaa epileptisille jälkipurkauksille, jotka estävät puhealueiden luotettavan paikantamisen ja voivat kehittyä kohtauksiksi. Aivojen pinnalta mitattu elektrokortikografia voi olla hyödyllinen jälkipurkauksen tunnistamisessa, mikäli elektrodiliuska saadaan asetettua oikeaan kohtaan leikkausalueella. Lähinnä pitkään epilepsiaa sairastaneilla tai huonossa epilepsian hoitotasapainossa olevilla potilailla leikkauksenaikaiset epileptiset kohtaukset voivat hankaloittaa leikkauksen etenemistä. Hiljattain testattu stimulaatioprotokolla on vähemmän epileptogeeninen, ja siinä viiden monofaasisen pulssin sarja (pulssin kesto 0,5 ms ja pulssien intervalli 2 ms) toistuu

TAULUKKO 1. Valveleikkauspotilaan lääkitys.

| Osastolla | |
|---|---|
| Ei sedatoivaa lääkitystä | |
| Granisetroni | 1 mg p.o. |
| Omepratsoli | 40 mg p.o. |
| Deksametasoni (tuumoripotilas) | 4,5 mg p.o. |
| Omat lääkkeet harkinnan mukaan | |
| Leikkaussalissa | |
| Levetirasetami | 1 000 mg i.v. |
| Parasetamoli | 1 000 mg i.v. |
| Fentanyyli | 0,05 mg i.v. |
| Propofoli | 20–40 mg i.v. |
| Propofoli-infuusio | 1–5 mg/kg/t |
| Deksmedetomidini-infuusio | 0,3–0,9 µg/kg/t |
| Ropivakaiini 0,75 % 20 ml + Lidokaiini c. adr. 1 % 20 ml + NaCl 0,9 % 40 ml | Paikallisuudutukseen tavallisesti 60–80 ml s.c. |

p.o. = suun kautta, i.v. = laskimoon, s.c. = ihon alle

TAULUKKO 2. Leikkauksenaikaisten komplikaatioiden hoito.

| | |
|-------------------------|--|
| Väsyminen | Sedaation tarkka titraus |
| Hengityslama, apnea | Naloksoni 0,1–0,2 mg i.v. Sedaation tauotus |
| Yskiminen | Fentanyyli 0,05 mg i.v. |
| Pahoinvointi, oksentelu | Granisetroni 1–2 mg i.v. Droperidoli 0,5 mg i.v. Beeta/deksametasoni 4–5 mg i.v. Tauko stimulaatiossa/resektiossa |
| Kouristaminen | Sähköstimulaation keskeytys Kylmä NaCl tai Ringer leikkausalueelle Propofolibolus 20–40 mg i.v. |

i.v. = laskimoon

3 Hz:n taajuudella (11). Tällä stimulaatiotavalla puhetoimintojen häiriön aiheuttamiseen tarvittava virta on karkeasti kaksinkertainen tavanomaiseen 50 Hz:n stimulaatioon verrattuna.

Kielellinen testaus. Leikkauksen aikana voidaan kartoittaa useita kognitiivisia toimintoja sen mukaan, mille aivoalueille leikkaus kohdistuu. Eniten käytetään erilaisia kielellisiä tehtäviä, mutta myös näönvaraiseen kog-

Ydinasiat

- ▶ Toiminnallinen aivokuvantaminen ei vielä tuota riittävän tarkkaa ja luotettavaa paikannustietoa aivan puhealueiden lähellä sijaitsevan aivokudoksen resektion turvallista suorittamista varten nukutetulla potilaalla.
- ▶ Valveilla tehtävät aivokasvain- ja epilepsialeikkaukset mahdollistavat mahdollisimman laajan ja turvallisen patologisen kudoksen poiston myös kielellisesti tärkeiden aivoalueiden läheisyydessä.
- ▶ Aivokirurgia valveilla olevalla potilaalla on hyvin siedettyä ja turvallista.
- ▶ Valveilla leikatuilla potilailla esiintyy vähemmän neurologisia komplikaatioita. Toiminnallisesti keskeisten alueiden läheisyydessä myös patologisen kudoksen poiston laajuus vaikuttaa olevan keskimäärin suurempi kuin nukutetuilla potilailla.

nitioon, toiminnanohjaukseen, työmuistiin ja motoriseen kontrolliin keskittyviä tehtäviä on kehitetty (12,13). Ylivoimaisesti käytetyin testausmenetelmä on puheen tuottoa kartoittava konfrontaationimeäminen, joka on myös itse käyttämämme tehtävä. Potilaalle esitetään kuvina yksitellen arkipäiväisiä esineitä, ja hän nimeää ne mahdollisimman nopeasti ja tarkasti johdantolauseella ”tämä on” + nimeke, kuten kampa, pöytä, lentokone tai muu sellainen. Testaaja panee merkille stimulaation aiheuttamat erityyppiset virheet ja mahdolliset muut kliiniset oireet (aidot kielelliset vasteet tulee erottaa esimerkiksi tarkkaavuuden herpaantumisesta tai epileptisistä kohtauksista). Puhekyky voi estyä kokonaan, jolloin potilas ei pysty sanomaan johdantolauseetakaan. Puhealueen häirinnästä aiheutuvia nimeämisvirheitä ovat täysi nimeämisvaikeus (anomia; potilas puhuu muttei nimeä), sanan merkitykseen (semanttinen; appelsiinista tulee ”sitruuna”) tai äänneasuun (fonologinen; appelsiinista tulee pappelpiini) liittyvät parafasiat, puheen tuottoon liittyvät

virheet (esimerkiksi dysartria, mutta potilas nimeää oikein), epäsanat (äänneasultaan mahdollinen, mutta epäaito sana; appelsiinista tulee ”jampura”) sekä nimeämisen selvä hidastuminen tai korvautuminen nimekettä kiertelevin kuvailuin (”se oranssi syötävä, joka on makea ja kasvaa etelässä”). Yksittäinen kortikaalinen alue saattaa tuottaa useammanlaisia virheitä stimulaatiota toistettaessa; löydöksen käyttöarvon kannalta riittävä määrällinen toistuvuus (kaksi kolmasosaa toistoista) on olennaisempaa kuin sisällön laadullinen johdonmukaisuus.

Kielellisen toimintakyvyn seuranta. Kielellisen monitoroinnin aikana testaaja arvioi potilaan kielellistä toimintakykyä kirurgin suorittaessa resektiota ja raportoi havaintonsa kirurgille. Tyypillisesti tämä tehdään vapaalla keskustelulla arkipäiväisistä aiheista, jossa valtaosa puheajasta säilytetään potilaalle. Potilaan puheesta arvioidaan sisällöllistä johdonmukaisuutta, kielioppia, sananlöytämistä, puheen ymmärtämistä ja puheilmaisun eri piirteitä. Keskustelun lomassa voidaan käyttää myös improvisoituja lyhyitä tehtäviä kuten lauseiden toistoa, päässälaskuja, yliopittujen sisältöjen mieleenpalautusta ja luettelointia ynnä muita varmistamaan potilaan orientaatiota ja toimintakykyä, niin että painotetaan eri kognitiivisia osa-alueita, sekä tarvittaessa jatketaan kartoitusta sähköstimulaatiota hyödyntäen.

Leikkauksen edetessä testaukseen voi liittyä useita haasteita, kuten väsyvyys, psyykkiset reaktiot, pahoinvointi tai epileptiset oireet. Tyypillisin haaste näistä on leikkauksen edetessä ja osin lääkevaikutuksestakin aiheutuva väsyminen, jolloin puhekyvyn lievä tasainen heikkeneminen ilman resektion vaikutustakin on odotettavaa. Resektion ulottuessa aivan stimuloiden saatujen vasteiden lähelle lieväasteista dysfasiaa ilmenee leikkauksen aikana liki kaikilla potilailla ilman, että tämä yleensä ennustaisi pidempiaikaista postoperatiivista puhehäiriötä. Kielellisten aivoalueiden vaurioitumisesta aiheutuva, postoperatiivista heikkenemistä ennustava dysfaattinen oirekuva on leikkauksen aikana usein syvempi, yhtäkkisempi eikä yleensä ala leikkauksen aikana palautua, vaikkei alueeseen enää kajota. Vaikka kielellinen toimintakyky heikkenisi, on testausta

mielekästä jatkaa niin pitkään kuin lisääntyvän heikkenemisen arviointi vaikuttaa mahdolliselta ja potilaan yhteistyökyky on riittävä. Toimintakyvyn arvioinnin lisäksi testaajan tehtävänä on auttaa potilaan mielentilan pysymistä suotuisana ja välittää potilaan mahdolliset tarpeet muille työntekijöille.

Oma kokemuksemme

Ryhmämme on suorittanut edellä kuvattua protokollaa käyttäen 29 aivoleikkausta hereillä oleville potilaille. Tämä vastaa noin 2 %:a samaan aikaan yksikössämme suoritetuista aivokasvainresektioista, mutta todennäköistä on, että kokemuksen lisääntyessä valveleikkaukseen ryhtymisen kynnyksessä madaltuu ja suhteellinen osuus lisääntyy. Kaksi leikkausta on tehty epilepsiapotilaille ja loput glioomapotilaille (WHO:n erilaistumisaste II–IV). Kolme glioomapotilasta on leikattu hereillä toistamiseen kasvaimen uusiuduttua. Potilaat ovat olleet iältään 16–63-vuotiaita. Kahdessa leikkauksessa potilas on jouduttu sedatoimaan ennen aikaisesti; kerran ahdistuneisuuden ja kerran oksentelun takia (oksenteleva potilas intuboitui). Ohimenevä dysfasia leikkauksen aikana ja sen jälkeen on tavallista, mutta kaikkien potilaidemme puhe on saavuttanut toipumisvaiheen jälkeen tason, jolla he ovat arjessa omatoimisia. Potilaiden kokemus on ollut yleensä hyvin positiivinen, ja he olisivat olleet suostuvaisia tarvittaessa toimenpiteeseen uudelleen. Tältä osin kokemuksemme vastaavat kansainvälisiä tuloksia (14,15).

Lopuksi

Nykykaikaisen neurokirurgian keskeisiä tavoitteita on potilaan elämänlaadun säilyttäminen mahdollisimman hyvänä vaikeasta sairaudesta ja vaativasta leikkauksesta huolimatta. Aivojen puhealueille ulottuvien sairauksien leikkauksenhoidossa toimenpiteen tekeminen hereillä on luotettavin menetelmä vaikean puhehäiriön riskin minimoimiseksi – varsinkin mikäli samalla pyritään patologisen kudoksen mahdollisimman laajaan poistoon. Esimerkiksi matalasteisen gliooman hoidossa varhainen resektio

lisää odotettavissa olevaa elinaikaa lähes kolminkertaiseksi (16). Valveleikkauksen mahdollisena haittapuolena on kuitenkin esitetty, että leikkauksenaikainen toimintakyvyn heikkeneminen saattaa johtaa liian varovaiseen resektioon: mikäli leikkaus tehtäisiin nukutuksessa, suurempi osa patologisesta kudoksesta tulisi poistettua ja potilas saattaisi silti ajan kanssa toipua dysfasiastaan (17). Koska neurokirurgi pyrkii kuitenkin välttämään pysyvän haitan aiheuttamista, johtaa epävarmuus turvallisen resektion rajoista usein pikemminkin ylivoimaisuuteen. Onkin varsin paljon näyttöä, että valveleikkaukset toiminnallisesti keskeisten alueiden lähellä sijaitsevien kasvainten hoidossa johtavat laajempaan resektioon kuin yleisanestesiassa tehty, ja potilailla esiintyy silti vähemmän neurologisia komplikaatioita (6,18–20). Vaikka valveleikkaukset kuluttavat jonkin verran enemmän leikkaussaliaikaa ja henkilökuntaresursseja kuin yleisanestesiassa tehtävät aivoleikkaukset, on nykytiedon valossa vaikeaa perustella näiden sairauksien hoidossa muuta menetelmää. Nähtäväksi jää, missä vaiheessa leikkausta edeltävän kuvantamisen, leikkauksenaikaisen neurofysiologisen monitoroinnin ja neuronavigoinnin kehittyminen mahdollistavat puhealueiden luotettavan paikantamisen myös nukutetuilla potilailla. ■

AKI LAAKSO, dosentti, osastonylilääkäri

HYKS Neurokirurgian klinikka ja Kliiniset neurotieteet, Helsingin yliopisto

HENRI LEHTINEN, psykologian lisensiaatti, neuropsykologi

HYKS Lastenneurologia, Konsultaatio- ja epilepsiayksikkö

ERIKA KIRVESKARI, dosentti, ylilääkäri

HUS-Kuvantaminen, Kliininen neurofysiologia ja Kliiniset neurotieteet, Helsingin yliopisto ja HYKS

MARKKU MÄÄTTÄNEN, erikoislääkäri, neuroanestesiologian erityispätevyys

HYKS Leikkaussalit, teho- ja kivunhoito

SIDONNAISUUDET

Aki Laakso: Apuraha (Valtion tutkimusapuraha), korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Medac Oy)

Henri Lehtinen, Erika Kirveskari, Markku Määttänen:

Ei sidonnaisuuksia

KIRJALLISUUTTA

1. Surbeck W, Hildebrandt G, Duffau H. The evolution of brain surgery on awake patients. *Acta Neurochir (Wien)* 2015;157:77–84.
2. Mäenpää H, Kallio M, Jääskeläinen JE, ym. Aivokasvainten hoito. Kirjassa: Soinila S, Kaste M, toim. *Neurologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2015.
3. Tzourio-Mazoyer N, Perrone-Bertolotti M, Jobard G, ym. Multi-factorial modulation of hemispheric specialization and plasticity for language in healthy and pathological conditions: a review. *Cortex* 2017;86:314–39.
4. Sanai N, Mirzadeh Z, Berger MS. Functional outcome after language mapping for glioma resection. *N Engl J Med* 2008; 358:18–27.
5. Duffau H. The challenge to remove diffuse low-grade gliomas while preserving brain functions. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154:569–74.
6. Hervey-Jumper SL, Berger MS. Maximizing safe resection of low- and high-grade glioma. *J Neurooncol* 2016;130:269–82.
7. Lioumis P, Zhdanov A, Mäkelä N, ym. A novel approach for documenting naming errors induced by navigated transcranial magnetic stimulation. *J Neurosci Methods* 2012;204:349–54.
8. Lefaucheur JP, Picht T. The value of preoperative functional cortical mapping using navigated TMS. *Neurophysiol Clin* 2016;46:125–33.
9. Meng L, McDonagh DL, Berger MS, ym. Anesthesia for awake craniotomy: a how-to guide for the occasional practitioner. *Can J Anesth* 2017;64:517–29.
10. Szelényi A, Bello L, Duffau H, ym. Intraoperative electrical stimulation in awake craniotomy: methodological aspects of current practice. *Neurosurg Focus* 2010; 28:E7.
11. Riva M, Fava E, Gallucci M, ym. Monopolar high-frequency language mapping: can it help in the surgical management of gliomas? A comparative clinical study. *J Neurosurg* 2016;124:1479–89.
12. Talacchi A, Santini B, Casartelli M, ym. Awake surgery between art and science. Part II: language and cognitive mapping. *Funct Neurol* 2013;28:223–39.
13. Duffau H. Awake surgery for nonlanguage mapping. *Neurosurgery* 2010;66:523–8.
14. Beez T, Boge K, Wager M, ym. Tolerance of awake surgery for glioma: a prospective European Low Grade Glioma Network multicenter study. *Acta Neurochir (Wien)* 2013;155:1301–8.
15. Millan M, Tatagiba M, Feigl GC. Patient response to awake craniotomy - a summary overview. *Acta Neurochir (Wien)* 2014;156:1063–70.
16. Jakola AS, Skjulsvik AJ, Myrland KS, ym. Surgical resection versus watchful waiting in low-grade gliomas. *Ann Oncol* 2017. DOI: 10.1093/annonc/mdx230.
17. Paldor I, Drummond KJ, Awad M, ym. Is a wake-up call in order? Review of the evidence for awake craniotomy. *J Clin Neurosci* 2016;23:1–7.
18. Sanai N, Berger MS. Operative techniques for gliomas and the value of extent of resection. *Neurotherapeutics* 2009;6:478–86.
19. Sacko O, Lauwers-Cances V, Brauge D, ym. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery* 2011;68:1192–8.
20. Duffau H. Resecting diffuse low-grade gliomas to the boundaries of brain functions: a new concept in surgical neuro-oncology. *J Neurosurg Sci* 2015;59:361–71.

SUMMARY

Awake brain surgery

Microneurosurgical treatment of gliomas and epilepsy may require tissue resection at or near eloquent brain regions. Despite recent advances in noninvasive functional neuroimaging and intraoperative neurophysiological monitoring, awake surgery remains the safest and most reliable method to map and preserve functional language and cognitive areas in the brain during resection. The patient may be sedated for opening and closure of the craniotomy, and woken up for mapping and monitoring. Functionally critical areas can be mapped using direct electrical cortical and subcortical stimulation, and preservation of function can be continuously monitored as the resection progresses. When performed in appropriate fashion, awake brain surgery is safe and well tolerated by the patients, and enables as extensive resections as safely possible in the vicinity of eloquent areas.